

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 08234250 A

(43) Date of publication of application: 13.09.96

(51) Int. Cl

**G02F 1/35**  
**H01S 3/10**  
**H01S 3/108**  
**H04J 14/00**  
**H04J 14/02**

(21) Application number: 07037200

(22) Date of filing: 24.02.95

(71) Applicant: NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

(72) Inventor: MORIOKA TOSHIO  
ISHIDA OSAMU  
SUZUKI SENTA  
SARUWATARI MASATOSHI

**(54) WAVELENGTH MULTIPLEX SIGNAL LIGHT GENERATOR**

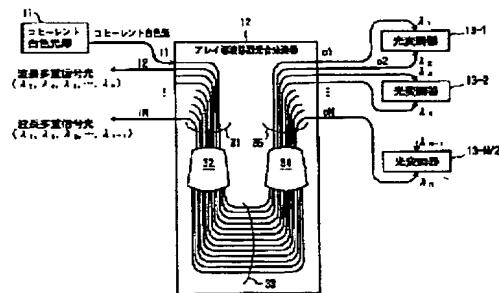
(57) Abstract:

PURPOSE: To realize a wavelength multiplex signal light generator capable of collectively generating ultra-short pulse signals or plural pieces of wavelengths in a wide wavelength range.

CONSTITUTION: This wavelength multiplex signal light generator has a pulse light source for excitation which outputs light pulse for excitation of wavelength  $\lambda$ , a coherent white light source 11 including a non-linear optical medium which has a prescribed length, dispersion slope and dispersion in a wavelength range  $\Delta\lambda$  including the wavelength  $\lambda_0$ , receives the light pulses for excitation and outputs coherent white light of an ultra-wide band, an array waveguide type optical multiplexer/demultiplexer 12 having N pieces of input ports and N pieces of output ports and N-1 pieces of optical modulators 13 which modulate the light pulses demultiplexed to N-1 pieces of the output ports and input the modulated signal light of the respective wavelengths to N-1 pieces of the corresponding input ports, respectively. The coherent white light is inputted to the one input port of the array waveguide

type optical multiplexer/ demultiplexer 12 and the wavelength multiplexed signal light is outputted from the one output port.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-234250

(43)公開日 平成8年(1996)9月13日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	府内整理番号	F I	技術表示箇所
G 02 F	1/35		G 02 F	1/35
H 01 S	3/10		H 01 S	3/10
	3/108			3/108
H 04 J	14/00		H 04 B	9/00
	14/02			E

審査請求 未請求 請求項の数 3 O.L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平7-37200

(22)出願日 平成7年(1995)2月24日

(71)出願人 000004226  
日本電信電話株式会社  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号  
(72)発明者 盛岡 敏夫  
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
(72)発明者 石田 修  
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
(72)発明者 鈴木 扇太  
東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内  
(74)代理人 弁理士 古谷 史旺

最終頁に続く

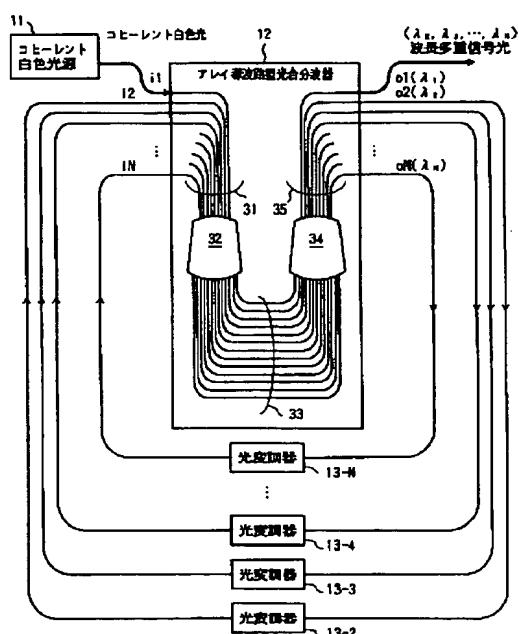
(54)【発明の名称】 波長多重信号光発生装置

(57)【要約】

【目的】複数個の波長の超短パルス信号を広い波長範囲で一括して発生させることができる波長多重信号光発生装置を実現する。

【構成】波長 $\lambda_0$ の励起用光パルスを出力する励起用パルス光源と、波長 $\lambda_0$ を含む波長範囲 $\Delta\lambda$ で所定の長さ、分散スロープ、分散を有し、励起用光パルスを入力して超広帯域のコヒーレント白色光を出力する非線形光学媒質とを含むコヒーレント白色光源と、N個の入力ポートとN個の出力ポートを有するアレイ導波路型光合分波器と、N-1個の出力ポートに分波された光パルスを変調し、各波長の変調信号光をN-1個の対応する入力ポートにそれぞれ入力するN-1個の光変調器とを備え、アレイ導波路型光合分波器の1つの入力ポートにコヒーレント白色光を入力し、1つの出力ポートから波長多重信号光を出力する。

本発明の波長多重信号光発生装置の第1実施例の構成



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 波長  $\lambda_0$  の励起用光パルスを出力する励起用パルス光源と、3 次非線形係数を  $\gamma$ 、励起用光パルスの 1 パルス当たりのエネルギーを  $E$ 、励起用光パルスのピークパワーを  $P$ 、4 光波混合光強度の利得を  $G_0$  ( $G_0$  は 2 以上)、真空中の光速を  $c$  としたときに、波長  $\lambda_0$  を含む所定の波長範囲  $\Delta \lambda$  で長さが

$$\ln G_0 / (2 |\gamma| P) \quad [\text{km}]$$

以上であり、分散スロープの絶対値が

$$16 (|\gamma| E) / (\Delta \lambda^2 \ln G_0) \quad [\text{ps/nm}^2/\text{km}]$$

以下であり、かつ波長  $\lambda_0$  での分散の絶対値が

$$(16 / \pi c) \cdot \lambda_0^2 |\gamma| P / (\Delta \lambda)^2 \quad [\text{ps/nm}/\text{km}]$$

以下であり、前記励起用光パルスを入力して超広帯域のコヒーレント白色光を出力する非線形光学媒質とを有するコヒーレント白色光源と、

$N$  個の入力ポートと  $N$  個の出力ポートを有するアレイ導波路型光合分波器と、

前記アレイ導波路型光合分波器の  $N - 1$  個の出力ポートに分波された光パルスを変調し、各波長の変調信号光を  $N - 1$  個の対応する入力ポートにそれぞれ入力する  $N - 1$  個の光変調器とを備え、

前記アレイ導波路型光合分波器の 1 つの入力ポートに前記コヒーレント白色光を入力し、1 つの出力ポートから前記各波長の変調信号光を多重した波長多重信号光を出力する構成であることを特徴とする波長多重信号光発生装置。

【請求項 2】 請求項 1 に記載のコヒーレント白色光源と、

$N$  個の入力ポートと  $N$  個の出力ポートを有するアレイ導波路型光合分波器と、

前記アレイ導波路型光合分波器の所定の 2 つの出力ポート間にそれぞれ配置され、一方の出力ポートに分波された光パルスをそれぞれ変調し、その変調信号光を他方の出力ポートにそれぞれ入力する  $N / 2$  個の光変調器とを備え、

前記アレイ導波路型光合分波器の所定の入力ポートに前記コヒーレント白色光を入力し、所定の入力ポートから前記各波長の変調信号光を多重した波長多重信号光を出力する構成であることを特徴とする波長多重信号光発生装置。

【請求項 3】 請求項 1 に記載のコヒーレント白色光源と、

前記コヒーレント白色光源から出力されるコヒーレント白色光を  $N$  分岐する光分岐手段と、

$N$  分岐されたコヒーレント白色光からそれぞれ異なる所定の波長を選択する  $N$  個の波長選択手段と、

前記各波長選択手段の出力光を個々に変調する  $N$  個の光変調器と、

前記各光変調器の出力光を合波して波長多重信号光を出力する光結合手段とを備えたことを特徴とする波長多重

信号光発生装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、2 以上の波長の信号光を同時に発生させ、波長多重して出力する波長多重信号光発生装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 将来の光通信システムでは、通信容量を飛躍的に増大させる方法として波長多重 (WDM) 伝送システムが有望視されている。これは、複数の異なる光キャリア周波数 (波長) に信号を重畳して伝送するもので、光キャリアの数だけ総伝送容量が増大する。

【0003】 ところで、波長多重伝送システムでは複数個の異なる波長の光源が必要となる。現在そのような光源として、異なる波長で連続発振する DFB レーザを 20 個程度集積化したレーザアレイや、4 波長程度で同時発振するモード同期ファイバリングパルスレーザがある。図 8 は、モード同期ファイバリングパルスレーザの構成を示す。図において、1 は光変調器、2 は複屈折媒質、3 は偏光子、4 は光ファイバアンプ等による利得媒質である。光変調器 1 から出力された光パルスは、複屈折媒質 2、偏光子 3、利得媒質 4 を介して光変調器 1 に入力されるリング構成となっており、光変調器 1 から出力光パルスが取り出される。本構成では、複屈折媒質 2 が複屈折領域 5 となり、それ以外の領域が単一偏波領域 6 となる。発振する波長数は、複屈折領域 5 の数を  $N$  として  $2^N$  個となり、波長間隔は複屈折媒質 2 の偏波分散により決定される。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 モード同期ファイバリングパルスレーザでは、発振波長は利得媒質 4 の帯域により制限され、自由に光パルスの発振波長を選択し、かつピコ秒以下の超短パルスを得るのは困難であった。また、従来、LED、SLD、半導体レーザアンプ、光ファイバアンプの自然放出雑音 (ASE) などの広帯域の白色雑音光源の出力光を光合分波器を用いてフィルタリングすることにより、一括して複数の波長成分を抽出する多波長光源が提案されている。しかし、いずれも原理的に光源のコヒーレンスが低いので、S/N 比のよいギガヘルツ以上の広帯域の多波長信号光を発生させることは困難であった。

【0005】 本発明は、超広帯域のコヒーレント白色パルスを発生させるコヒーレント白色光源と光合分波器を組み合わせ、複数個の波長の超短パルス信号を広い波長範囲で一括して発生させることができる波長多重信号光発生装置を提供することを目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】 本発明の波長多重信号光発生装置は、波長  $\lambda_0$  の励起用光パルスを出力する励起用パルス光源と、波長  $\lambda_0$  を含む波長範囲  $\Delta \lambda$  で所定の

長さ、分散スロープ、分散を有し、励起用光パルスを入力して超広帯域のコヒーレント白色光を出力する非線形光学媒質とを含むコヒーレント白色光源を備える。

【0007】このコヒーレント白色光源と、N個の入力ポートとN個の出力ポートを有するアレイ導波路型光合分波器と、N-1個の出力ポートに分波された光パルスを変調し、各波長の変調信号光をN-1個の対応する入力ポートにそれぞれ入力するN-1個の光変調器とを備え、アレイ導波路型光合分波器の1つの入力ポートにコヒーレント白色光を入力し、1つの出力ポートから波長多重信号光を出力する（請求項1）。

【0008】また、前記のコヒーレント白色光源と、N個の入力ポートとN個の出力ポートを有するアレイ導波路型光合分波器と、所定の2つの出力ポート間にそれぞれ配置され、一方の出力ポートに分波された光パルスをそれぞれ変調し、その変調信号光を他方の出力ポートにそれぞれ入力するN/2個の光変調器とを備え、アレイ導波路型光合分波器の所定の入力ポートにコヒーレント白色光を入力し、所定の入力ポートから波長多重信号光を出力する（請求項2）。

【0009】また、前記のコヒーレント白色光源と、コヒーレント白色光をN分岐する光分岐手段と、N分岐されたコヒーレント白色光からそれぞれ異なる所定の波長を選択するN個の波長選択手段と、各波長選択手段の出力光を個々に変調するN個の光変調器と、各光変調器の出力光を合波して波長多重信号光を出力する光結合手段とを備える（請求項3）。

#### 【0010】

【作用】本発明の波長多重信号光発生装置のコヒーレント白色光源は、非線形光学媒質中における励起用光パルスの自己位相変調、相互位相変調、ならびに広い波長範囲にわたる高効率でコヒーレントな光パラメトリック4光波混合を用いて、励起用光パルスの中心波長 $\lambda_0$ の両側の $\Delta\lambda$ の波長範囲で一様なスペクトル強度と高いコヒーレンス（可干渉性）を有する超広帯域のコヒーレント白色光を発生させることができる。

【0011】このコヒーレント白色光をアレイ導波路型光合分波器の1つの入力ポートに入力することにより、複数の異なる波長成分を有する光パルス群がそれぞれ異なる出力ポートに出力される。ここで、アレイ導波路型光合分波器のN-1個の出力ポートを光変調器を介してN-1個の入力ポートに1対1の関係で接続することにより、これらの光パルス群を独立に変調し、再びアレイ導波路型光合分波器に入力し合波して1つの出力ポートから波長多重信号光として出力することができる（請求項1）。

【0012】また、アレイ導波路型光合分波器の所定の出力ポートどうしを光変調器を介して1対1の関係で接続することにより、複数の異なる波長成分を有する光パルス群を独立に変調したのちに、再びアレイ導波路型光

合分波器に入力し合波して1つの入力ポートから波長多重信号光として出力することができる（請求項2）。また、コヒーレント白色光をN分岐し、各コヒーレント白色光からそれぞれ異なる所定の波長を選択することにより、複数の異なる波長成分を有する光パルス群がお出力される。この光パルス群を各光変調器で独立に変調し、光結合手段に入力し合波することにより波長多重信号光として出力することができる（請求項3）。

#### 【0013】

##### 【実施例】

（第1実施例—請求項1に対応）図1は、本発明の波長多重信号光発生装置の第1実施例の構成を示す。図において、コヒーレント白色光源11から出力された超広帯域のコヒーレント白色光は、アレイ導波路型光合分波器12の1つの入力ポートi1から入力される。残りのN-1個の入力ポートi2～iNは、出力ポートo2～oNとそれぞれ光変調器13-2～13-Nを介して1対1に接続される。アレイ導波路型光合分波器12の出力ポートo1から波長多重信号光がお出力される。

【0014】図2は、コヒーレント白色光源11の構成を示す。図において、コヒーレント白色光源11は、中心波長 $\lambda_0$ の励起用光パルスを出力する励起用パルス光源21と、所定の分散スロープと分散を有する非線形光学媒質22とにより構成される。なお、必要に応じて励起用光パルスを除去するバンド除去フィルタ23を備えてもよい。

【0015】ここで、コヒーレント白色光源11の非線形光学媒質22中における動作について説明する。非線形光学媒質22中に入力された励起用光パルスは、自己位相変調によりそのスペクトル幅が励起波長の両側に対称に広げられる。自己位相変調によるスペクトル幅が4光波混合の帯域に重なり始めると、自己位相変調によって広がったスペクトル成分を種にして、4光波混合の利得曲線に沿ってスペクトルがその利得帯域幅までコヒーレントに広がり始める。そして、しだいに励起光パワーが減少して励起光パワーの平方根に比例する利得帯域幅が減少し始めると、その時点ですべてのスペクトルが停止する。このとき発生したコヒーレント白色光スペクトルは、その発生過程から明らかのように励起波長の両側に徐々に広がっていくので連続的で一様となる。また、発生した白色パルスのコヒーレンスは、4光波混合光が発生する際の励起用光パルスのコヒーレンスにより決まり、励起用光パルスにコヒーレンスの高いパルスを用いれば白色光のコヒーレンスも高くなる。

【0016】さらに、4光波混合の種となるスペクトル成分を発生する自己位相変調は低励起パワーで起こり、また一定の利得帯域を与える4光波混合の必要励起パワーは分散に比例して減少するので、低分散の非線形光学媒質22を用いれば励起パワーの低減化も可能である。以下、非線形光学媒質22として用いる光導波路（單一

モード光ファイバ) の分散スロープと分散の大きさに関する規定を導出する。

【0017】4光波混合の理論から、最大利得を与える励起光(波長 $\lambda_0$ )と4光波混合光(波長 $\lambda_f$ )との光角周波数差 $\Omega_S = 2\pi c |1/\lambda_0 - 1/\lambda_f|$  : cは真空中の光速)は、光導波路の3次非線形係数を $\gamma$  (=  $2\pi n$

$$\Omega_S = (2|\gamma|P/|\beta_2|)^{1/2}$$

となる。また、光導波路の長さを $L$  [km] とすると、 $\Omega$

$$G_0 = \exp(2|\gamma|PL)$$

で与えられる。

【0018】ここで、白色光が連続的に発生するためには、 $\Omega_S$ において利得をもつ必要があるので、式(2)の

$$L_C = \ln G_0 / (2|\gamma|P)$$

と求まる。

【0019】ところで、波長 $\lambda_0$ の励起用光パルスと波長 $\lambda_0 \pm \Delta\lambda/2$ の4光波混合光の光導波路長 $L_C$ における

$$\begin{aligned} \tau &= (1/2) |dD(\lambda_0)/d\lambda| \cdot (\Delta\lambda/2)^2 \cdot L_C \\ &= (\ln G_0/16) |dD(\lambda_0)/d\lambda| \cdot \Delta\lambda^2 / (|\gamma|P) \end{aligned} \quad \cdots (4)$$

と表せる。ここで、波長 $\lambda_0 \pm \Delta\lambda/2$ の4光波混合光が発生するためには、励起用光パルスと4光波混合光との時間的な重なりが必要で、それは両者の群遅延差 $\tau$ が励

$$\Delta t_0 \geq \tau = (\ln G_0/16) |dD(\lambda_0)/d\lambda| \cdot \Delta\lambda^2 / (|\gamma|P) \quad \cdots (5)$$

で表される。したがって、分散スロープの条件として

$$|dD(\lambda_0)/d\lambda| \leq 16 (|\gamma|P \Delta t_0) / (\Delta\lambda^2 \ln G_0) \quad \cdots (6)$$

が得られる。ここで、 $P \Delta t_0$ は励起用光パルスのエネルギーEにほぼ等しいので、光導波路の分散スロープに関する

$$|dD(\lambda_0)/d\lambda| \leq 16 (|\gamma|E) / (\Delta\lambda^2 \ln G_0) \quad \cdots (7)$$

が得られる。

【0020】次に、光導波路が波長 $\lambda_0$ の励起用光パルスから波長 $\lambda_0 \pm \Delta\lambda/2$ の4光波混合光を発生させるた

$$\Omega_S = (2|\gamma|P/|\beta_2|)^{1/2} \geq 2\pi c \Delta\lambda / (4\lambda_0^2) \quad \cdots (8)$$

でなければならない。ここで、 $\beta_2$ と $D(\lambda)$ の関係式

$$|\beta_2| = \lambda^2 |D(\lambda)| / (2\pi c) \quad \cdots (9)$$

を用いて、光導波路の分散に関する条件式

$$|D(\lambda_0)| \leq (16/\pi c) \cdot \lambda_0^2 |\gamma| P / (\Delta\lambda)^2 \quad \cdots (10)$$

が求まる。式(10)は、少なくとも式(3)で規定される長さ $\ln G_0 / (2|\gamma|P)$ にわたって満たされなければならない。

【0021】なお、光導波路中の励起用光パルスのピークパワー $P$ と、光導波路に入力される励起用光パルスのピークパワー $P_0$ とは、励起用光パルスの波形変化等のために一般に異なる。これらは補正係数 $\alpha$ を用いて、 $P = \alpha P_0$ と表すことができる。アレイ導波路型光合分波器12は、図1に示すように、入力用導波路アレイ31、入力側コンケイブスラブ導波路32、アレイ導波路(隣接する導波路が $\Delta L$ の光路長差を有する)33、出力側コンケイブスラブ導波路34、出力用導波路アレイ35により構成される。入力ポートi1から入力用導波路アレイ31に入射された光は、入力側コンケイブスラブ導波路32において回折により広がり、その回折面と

$2/(\lambda A_{eff}) [1/(W km)]$  :  $n_2$  は光導波路の非線形屈折率 [ $m^2/W$ ] 、 $A_{eff}$  は光導波路の有効断面積 [ $m^2$ ] 、光導波路中の励起用光パルスのピークパワーを $P$  [W] 、光導波路の分散を $\beta_2$  [ $ps^2/km$ ] とする

$$[\text{THz}] \quad \cdots (1)$$

$S$  における4光波混合光強度の利得 $G_0$  は、

$$\cdots (2)$$

$G_0$  は1より大きくななければならない。この条件より白色光発生に必要な光導波路長 $L_C$  は

$$\cdots (3)$$

る群遅延差 $\tau$  [ps] は、分散スロープの絶対値を $|dD(\lambda)/d\lambda|$  [ $ps/nm^2/km$ ] として近似的に

起用光パルスのパルス幅 $\Delta t_0$  (ps : 半値全幅) 以下であるという条件

$$\Delta t_0 \geq \tau = (\ln G_0/16) |dD(\lambda_0)/d\lambda| \cdot \Delta\lambda^2 / (|\gamma|P) \quad \cdots (5)$$

$$|dD(\lambda_0)/d\lambda| \leq 16 (|\gamma|P \Delta t_0) / (\Delta\lambda^2 \ln G_0) \quad \cdots (6)$$

する条件式

$$|dD(\lambda_0)/d\lambda| \leq 16 (|\gamma|E) / (\Delta\lambda^2 \ln G_0) \quad \cdots (7)$$

めには、少なくとも式(1)で与えられる利得帯域 ( $\infty \Omega_S$ ) が $\Delta\lambda/4$ 以上でなければならない。したがって、

垂直に配置されたアレイ導波路33に導かれる。アレイ導波路33は、各導波路が導波路長差 $\Delta L$ で順次長くなっているので、各導波路を伝搬して出力側コンケイブスラブ導波路34に到達した光には導波路長差 $\Delta L$ に対応する位相差が生じている。この位相差は波長(光周波数)により異なるので、出力側コンケイブスラブ導波路34のレンズ効果で出力用導波路アレイ35の入力端に集光する際に、波長(光周波数)ごとに異なる位置に集光する。したがって、各出力ポートには異なる光周波数の光が取り出され、光分波器として機能することになる。また、同様に光合波器として機能する。

【0022】このアレイ導波路型光合分波器12の入出力関係は、図3に示すように入力ポートの位置を1つずらすと、透過中心波長と出力ポートの対応関係が1チャネルずつ巡回的にずれる。たとえば、入出力ポート数を

16とし、入力ポート  $i_1$  にコヒーレント白色光が入力されたときに、出力ポート  $o_1 \sim o_{16}$  に波長  $\lambda_1 \sim \lambda_{16}$  が分波されるとすると、入力ポート  $i_4$  に入力されたコヒーレント白色光は、出力ポート  $o_1, o_2, \dots, o_{16}$  に波長  $\lambda_4, \lambda_5, \dots, \lambda_{16}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  が分波される。このとき、各波長のバンド幅およびチャネル間隔は、アレイ導波路型光合分波器 12 の導波路パラメータにより決定され、各出力ポートに分波される光パルスのパルス幅はアレイ導波路型光合分波器 12 のバンド幅より決定されるトランスフォームリミットパルスとなる。

【0023】図 1 に示す構成では、入力ポート  $i_1$  にコヒーレント白色光が入力されると、出力ポート  $o_1, o_2, \dots, o_N$  に波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$  のコヒーレントな光パルスがそれぞれ出力される。このうち、出力ポート  $o_2, o_3, \dots, o_N$  に输出される波長  $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_N$  の光パルスは、対応する光変調器 13-2, 13-3, \dots, 13-N で変調信号光となり、それぞれ入力ポート  $i_2, i_3, \dots, i_N$  に戻される。これらの変調信号光はアレイ導波路型光合分波器 12 で合波され、出力

$$t-1 = \text{mod} [(s-1) + (q-r) + N, N] \quad \dots(11)$$

となる（石田、高橋、"Loss-imbalance equalisation of arrayed-waveguide degrading add-drop multiplexer", Electron. Lett., 30, pp. 1160-1162, 1994）。ここで、 $q, r$  は、コヒーレント白色光の入力ポート番号 ( $i_q$ ) と波長多重信号光の出力ポート番号 ( $o_r$ ) に対応する。 $t, s$  は、接続される入力ポート番号 ( $i_t$ ) と出力ポート番号 ( $o_s$ ) に対応する。 $\text{mod} [A, B]$  は、 $A$  を  $B$  で割った余りである。

【0026】（第 2 実施例-請求項 1 に対応）図 4 は、本発明の波長多重信号光発生装置の第 2 実施例の構成を示す。本実施例は、(11) 式における入出力ポート番号の差  $t-s$  の絶対値が、 $N/2$  となるようにオフセットを与えて接続したものである ( $\text{mod} [(q-r) + N, N] = N/2$ )。ここでは、入出力ポート数  $N$  を 16 とし、コヒーレント白色光源 11 から出力されたコヒーレント白色光がアレイ導波路型光合分波器 12 の入力ポート  $i_4$  に入力され、出力ポート  $o_{12}$  から波長多重信号光が出力される様子を示す。出力ポート  $o_1, o_2, \dots, o_{16}$  には、波長  $\lambda_4, \lambda_5, \dots, \lambda_{16}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  のコヒーレントな光パルスがそれぞれ出力される。このうち、出力ポート  $o_1, o_2, \dots, o_{11}, o_{13}, \dots, o_{16}$  に输出される波長  $\lambda_4, \lambda_5, \dots, \lambda_{14}, \lambda_{16}, \dots, \lambda_3$  の光パルスは、対応する光変調器 13-9, 13-10, \dots, 13-16, 13-1, \dots, 13-3, 13-5, \dots, 13-8 を介して入力ポート  $i_9, i_{10}, \dots, i_{16}, i_1, \dots, i_3, i_5, \dots, i_8$  に戻される。

【0027】これらの変調信号光はアレイ導波路型光合分波器 12 で再び合波され、出力ポート  $o_{12}$  から波長多重信号光として一括して出力される。なお、出力ポート  $o_{12}$  に输出される波長  $\lambda_{15}$  の光パルスはアレイ導波路型

ポート  $o_1$  から波長多重信号光として一括して出力される。なお、出力ポート  $o_1$  に输出される波長  $\lambda_1$  の光パルスはアレイ導波路型光合分波器 12 を 1 回通過しただけであるので、無変調であるとともに挿入損失が他の波長の信号光と比べて小さい。すなわち、出力ポート  $o_1$  に取り出される波長多重信号光には、光パワーが大きい波長  $\lambda_1$  の光パルス（無変調光）が含まれることになる。

【0024】このように、本実施例ではアレイ導波路型光合分波器 12 の所定の入出力ポートを光変調器 13 を介してループ状に接続することにより、光分波器と光合波器の機能を 1 つのアレイ導波路型光合分波器で実現させることができる。これにより、光分波器と光合波器を別々に構成した場合（特願平 5-221259 号の図 7 の構成）の特性の違いによる影響を回避することができる。

【0025】1 つの出力ポートから波長多重信号光が出力されるためのアレイ導波路型光合分波器 12 の入出力ポートの接続条件は、

$$t-1 = \text{mod} [(s-1) + (q-r) + N, N] \quad \dots(11)$$

光合分波器 12 を 1 回通過しただけであるので、無変調であるとともに挿入損失が他の波長の信号光と比べて小さい。すなわち、出力ポート  $o_{12}$  に取り出される波長多重信号光には、光パワーが大きい波長  $\lambda_{15}$  の光パルス（無変調光）が含まれることになる。

【0028】第 1 実施例に対する本実施例の利点は、波長多重信号光の各波長の光パワーのばらつきが低減されることである。その理由を以下に示す。一般にアレイ導波路型光合分波器 12 の各ポートの損失は、中心のポートを対称にして釣鐘型になっており、中心のポートの損失が最低であり、端のポートの損失が最大となる。したがって、同一番号の入出力ポートを接続する第 1 実施例の構成では、光がアレイ導波路型光合分波器 12 を 2 回通過する際にポートによる損失の違いが倍加する。一方、第 2 実施例の構成では、 $N/2$  だけずらした番号の入出力ポートを接続しているので、損失のばらつきが平均化されて波長多重信号光の波長による光パワーのばらつきが小さくなる。

【0029】（第 3 実施例-請求項 2 に対応）図 5 は、本発明の波長多重信号光発生装置の第 3 実施例の構成を示す。図において、コヒーレント白色光源 11 から出力されたコヒーレント白色光は、アレイ導波路型光合分波器 12 の 1 つの入力ポート  $i_1$  から入力される。出力ポート  $o_1 \sim o_N$  はそれぞれ隣接するものが光変調器 13-1 \sim 13-N/2 を介して 1 対 1 に接続される。

【0030】入力ポート  $i_1$  にコヒーレント白色光が入力されると、出力ポート  $o_1, o_2, \dots, o_N$  に波長  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$  のコヒーレントな光パルスがそれぞれ出力される。ここで、出力ポート  $o_1$  の波長  $\lambda_1$  の光パルスは光変調器 13-1 を介して出力ポート  $o_2$  に入力さ

れ、出力ポート $\circ 2$ の波長 $\lambda_2$ の光パルスは光変調器 $13-1$ を介して出力ポート $\circ 1$ に入力される。他のペアとなっている出力ポート間でも同様である。奇数番号の波長 $\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \dots, \lambda_{N-1}$ の変調信号光は、出力ポート $\circ 2, \circ 4, \dots, \circ N$ から入力されてアレイ導波路型光合分波器 $12$ で合波され、入力ポート $\circ N$ から波長多重信号光として一括して出力される。また、偶数番号の波長 $\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \dots, \lambda_N$ の変調信号光は、出力ポート $\circ 1, \circ 3, \dots, \circ N-1$ から入力されてアレイ導波路型光合分波器 $12$ で合波され、入力ポート $\circ 2$ から波長多重信号光として一括して出力される。

【0031】本実施例では、例えば光変調器 $13-1$ で波長 $\lambda_1$ の光パルスと波長 $\lambda_2$ の光パルスが同時に変調され、それぞれ異なるポートに出力されることになる。すなわち、2つの波長群 $(\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5, \dots, \lambda_{N-1})$ と $(\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6, \dots, \lambda_N)$ は同じ信号成分を有する波長多重信号光となる。また、本実施例では独立に $N/2$ 個の信号しか変調できないが、波長多重信号光の波長チャネル間隔を第1実施例および第2実施例に比べて2倍にすることができる。また、各波長がすべてアレイ導波路型光合分波器 $12$ を2回通過するので、第1実施例および第2実施例のように高光パワーの無変調光が波長多重信号光に合波されることがなくなる。

$$\text{mod} [r - q + N, N] = \text{mod} [t - s + N, N] \quad \dots(12)$$

または

$$\text{mod} [q - r + N, N] = \text{mod} [t - s + N, N] \quad \dots(13)$$

となる。ここで、 $q, r$ は、コヒーレント白色光の入力ポート番号 $(i_q)$ と波長多重信号光の入力ポート番号 $(i_r)$ に対応する。 $t, s$ は、接続される出力ポート番号 $(o_t)$ と出力ポート番号 $(o_s)$ に対応する。 $\text{mod} [A, B]$ は、 $A$ を $B$ で割った余りである。

【0035】本実施例では、例えば光変調器 $13-9$ で波長 $\lambda_4$ の光パルスと波長 $\lambda_{12}$ の光パルスが同時に変調され、ともに入力ポート $\circ 12$ から出力されることになる。すなわち、2つの波長群 $(\lambda_4, \lambda_5, \dots, \lambda_{11})$ と $(\lambda_{12}, \dots, \lambda_{16}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$ は同じ信号成分を有する波長多重信号光となる。したがって、その一方の波長多重信号光を用いるか、2系列の波長多重信号光として扱う放送型伝送に用いることができる。また、本実施例では、特に $t - s$ の絶対値が $N/2 = 8$ になるように設定しており、第2実施例と同様にアレイ導波路型光合分波器 $12$ の損失分布の影響を最小限に抑えることができる。

【0036】(第5実施例-請求項3に対応)図7は、本発明の波長多重信号光発生装置の第5実施例の構成を示す。図において、コヒーレント白色光源 $11$ から出力された超広帯域のコヒーレント白色光は $1 \times N$ 光カプラ $14$ で $N$ 分岐され、それぞれ異なる所定の波長を選択する光バンドパスフィルタ $15-1 \sim 15-N$ に入力される。各光バンドパスフィルタから出力される光パルスは

【0032】(第4実施例-請求項2に対応)図6は、本発明の波長多重信号光発生装置の第4実施例の構成を示す。本実施例では、出入力ポート数 $N$ を16とし、コヒーレント白色光源 $11$ から出力されたコヒーレント白色光がアレイ導波路型光合分波器 $12$ の入力ポート $\circ 4$ に入力される。出力ポート $\circ 1$ と $\circ 9, \circ 2$ と $\circ 10, \dots, \circ 8$ と $\circ 16$ はそれぞれ光変調器 $13-9 \sim 13-16$ を介して1対1に接続される。

【0033】入力ポート $\circ 4$ にコヒーレント白色光が入力されると、出力ポート $\circ 1, \circ 2, \dots, \circ 16$ に波長 $\lambda_4, \lambda_5, \dots, \lambda_{16}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ のコヒーレントな光パルスがそれぞれ出力される。ここで、出力ポート $\circ 1$ の波長 $\lambda_4$ の光パルスは光変調器 $13-9$ を介して出力ポート $\circ 9$ に入力され、出力ポート $\circ 9$ の波長 $\lambda_{12}$ の光パルスは光変調器 $13-9$ を介して出力ポート $\circ 1$ に入力される。他のペアとなっている出力ポート間でも同様である。これらの変調信号光はアレイ導波路型光合分波器 $12$ で合波され、入力ポート $\circ 12$ から波長多重信号光として一括して出力される。

【0034】1つの出力ポートから波長多重信号光が出力されるためのアレイ導波路型光合分波器 $12$ の入出力ポートの接続条件は、

それぞれ対応する光変調器 $13-1 \sim 13-N$ で変調される。各信号光は $N \times 1$ 光カプラ $16$ で合波され、波長多重信号光として出力される。

【0037】本実施例における $1 \times N$ 光カプラ $14$ と光バンドパスフィルタ $15-1 \sim 15-N$ は、上述した実施例におけるアレイ導波路型光合分波器 $12$ に相当し、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_N$ のコヒーレントな光パルスを得る光分波器として機能する。各波長のバンド幅および波長チャネル間隔は、各光バンドパスフィルタのフィルタ特性により決定される。

【0038】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長多重信号光発生装置に用いられるコヒーレント白色光源は、複雑なスペクトル構造をもたず、一様で連続的なスペクトルを有し、超広帯域(200 nm程度)で高いコヒーレンスを有し、さらにGHzの繰り返し周波数の白色パルスを低励起パワーで発生させることができる。

【0039】この白色パルスをアレイ導波路型光合分波器または波長選択手段に入力することにより、複数の異なる波長成分を有する光パルス群とし、これらを独立に変調して合波することにより波長多重信号光を発生させることができる。複数の異なる波長成分を有する光パルスのパルス幅、波長チャネル間隔は、用いるアレイ導波路型光合分波器または波長選択手段の特性により任意に

選択することができる。これにより、100 Gbit/s ~ 1 Tbit/s の波長多重超短パルス通信に不可欠な波長多重信号光発生装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の波長多重信号光発生装置の第 1 実施例の構成を示す図。

【図 2】コヒーレント白色光源 11 の構成を示す図。

【図 3】アレイ導波路型光合分波器 12 の入出力関係を示す図。

【図 4】本発明の波長多重信号光発生装置の第 2 実施例の構成を示す図。

【図 5】本発明の波長多重信号光発生装置の第 3 実施例の構成を示す図。

【図 6】本発明の波長多重信号光発生装置の第 4 実施例の構成を示す図。

【図 7】本発明の波長多重信号光発生装置の第 5 実施例の構成を示す図。

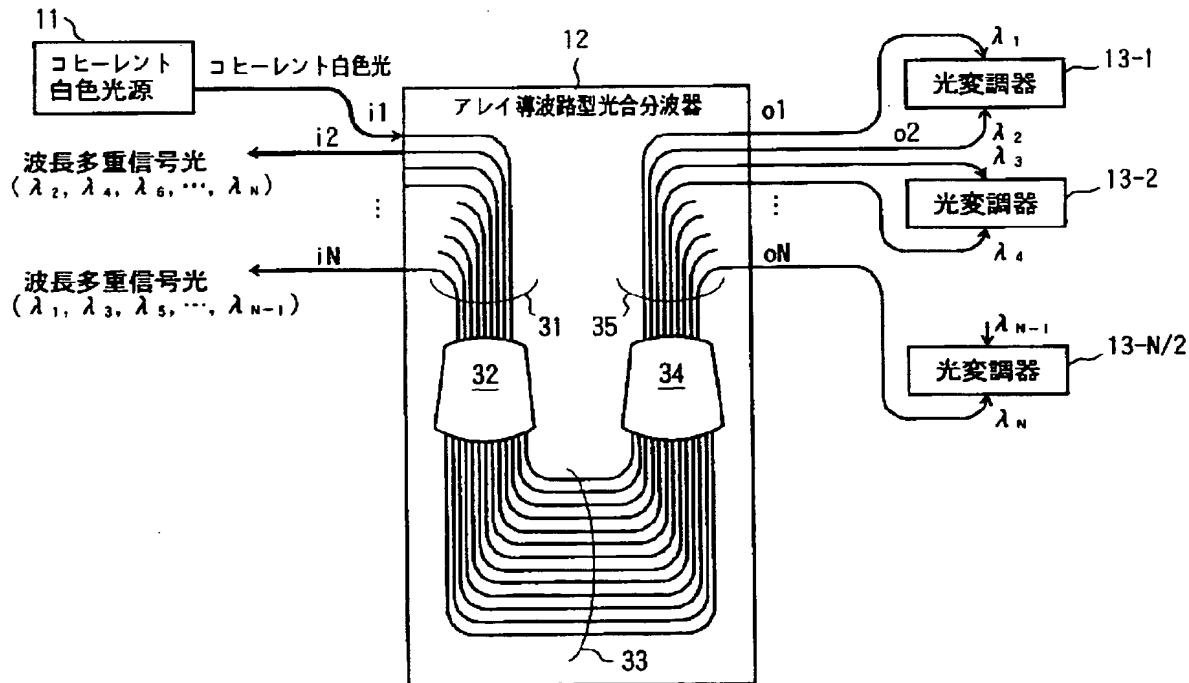
【図 8】モード同期ファイバリングパルスレーザの構成を示す図。

【符号の説明】

1 1	コヒーレント白色光源
1 2	アレイ導波路型光合分波器
1 3	光変調器
1 4	$1 \times N$ 光カプラ
1 5	光バンドパスフィルタ
1 6	$N \times 1$ 光カプラ
2 1	励起用パルス光源
2 2	非線形光学媒質
2 3	バンド除去フィルタ
3 1	入力用導波路アレイ
3 2	入力側コンケイブスラブ導波路
3 3	アレイ導波路
3 4	出力側コンケイブスラブ導波路
3 5	出力用導波路アレイ

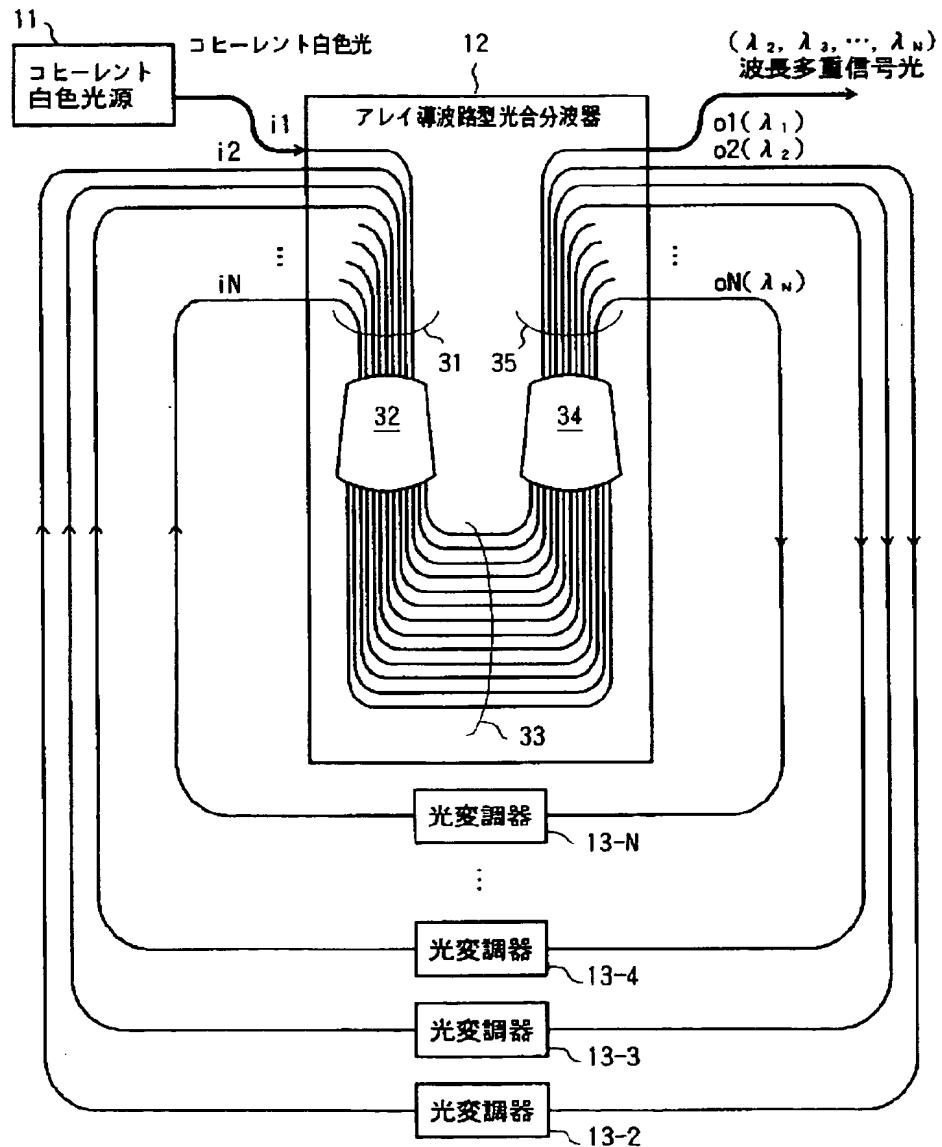
【図 5】

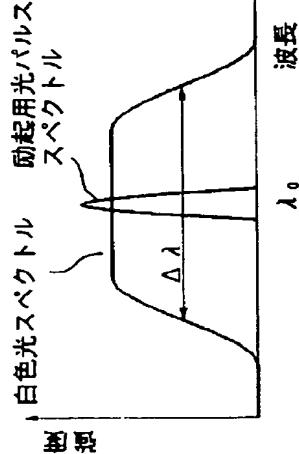
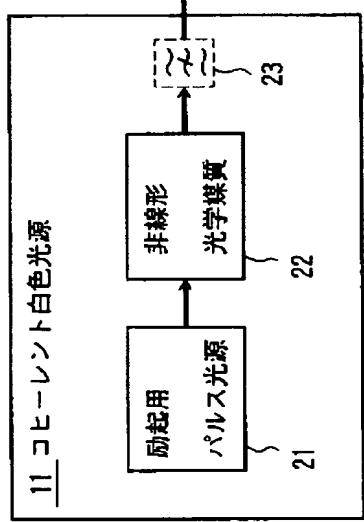
### 本発明の波長多重信号光発生装置の第 3 実施例の構成



【図1】

## 本発明の波長多重信号光発生装置の第1実施例の構成





【図 2】

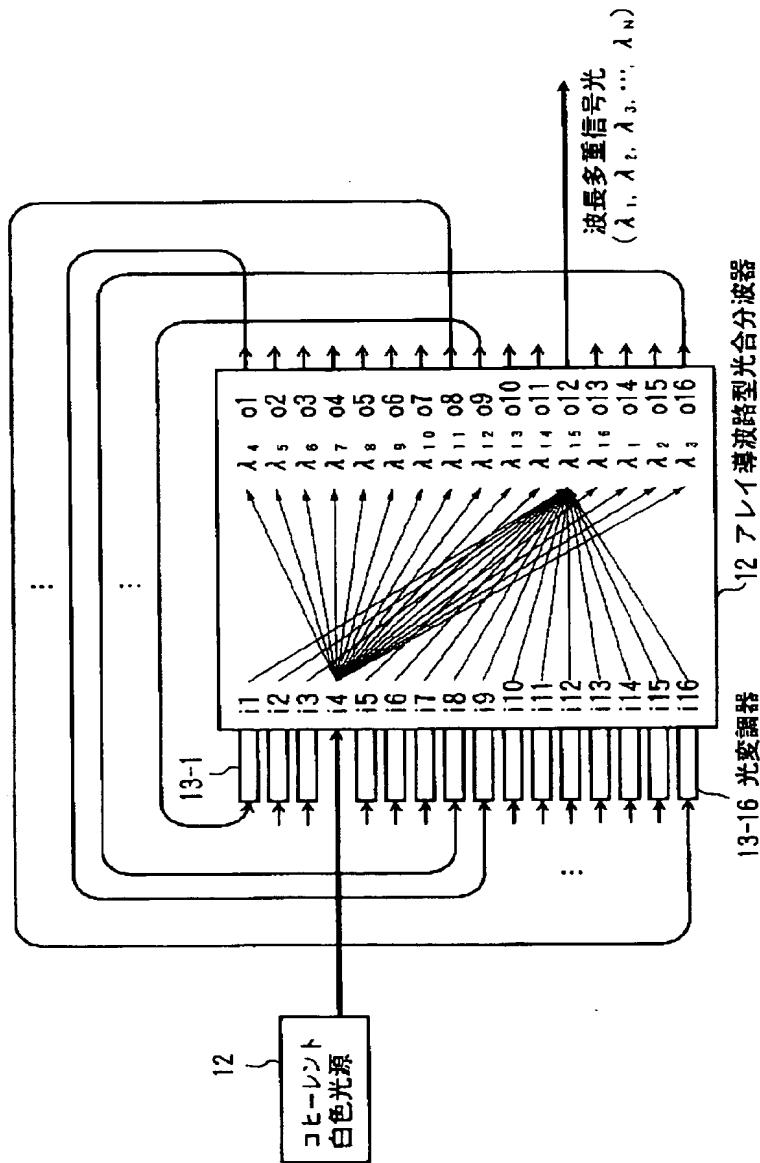
アレイ導波路型光合分波器 12 の入出力関係

	出力ポート															
	o1	o2	o3	o4	o5	o6	o7	o8	o9	o10	o11	o12	o13	o14	o15	o16
入力ポート	λ <sub>1</sub>	λ <sub>2</sub>	λ <sub>3</sub>	λ <sub>4</sub>	λ <sub>5</sub>	λ <sub>6</sub>	λ <sub>7</sub>	λ <sub>8</sub>	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>
	λ <sub>2</sub>	λ <sub>3</sub>	λ <sub>4</sub>	λ <sub>5</sub>	λ <sub>6</sub>	λ <sub>7</sub>	λ <sub>8</sub>	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>
	λ <sub>3</sub>	λ <sub>4</sub>	λ <sub>5</sub>	λ <sub>6</sub>	λ <sub>7</sub>	λ <sub>8</sub>	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>
	λ <sub>4</sub>	λ <sub>5</sub>	λ <sub>6</sub>	λ <sub>7</sub>	λ <sub>8</sub>	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>
	λ <sub>5</sub>	λ <sub>6</sub>	λ <sub>7</sub>	λ <sub>8</sub>	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>
	λ <sub>6</sub>	λ <sub>7</sub>	λ <sub>8</sub>	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>
	λ <sub>7</sub>	λ <sub>8</sub>	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>
	λ <sub>8</sub>	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>
	λ <sub>9</sub>	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>	λ <sub>24</sub>
	λ <sub>10</sub>	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>	λ <sub>24</sub>	λ <sub>25</sub>
	λ <sub>11</sub>	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>	λ <sub>24</sub>	λ <sub>25</sub>	λ <sub>26</sub>
	λ <sub>12</sub>	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>	λ <sub>24</sub>	λ <sub>25</sub>	λ <sub>26</sub>	λ <sub>27</sub>
	λ <sub>13</sub>	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>	λ <sub>24</sub>	λ <sub>25</sub>	λ <sub>26</sub>	λ <sub>27</sub>	λ <sub>28</sub>
	λ <sub>14</sub>	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>	λ <sub>24</sub>	λ <sub>25</sub>	λ <sub>26</sub>	λ <sub>27</sub>	λ <sub>28</sub>	λ <sub>29</sub>
	λ <sub>15</sub>	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>	λ <sub>24</sub>	λ <sub>25</sub>	λ <sub>26</sub>	λ <sub>27</sub>	λ <sub>28</sub>	λ <sub>29</sub>	λ <sub>30</sub>
	λ <sub>16</sub>	λ <sub>17</sub>	λ <sub>18</sub>	λ <sub>19</sub>	λ <sub>20</sub>	λ <sub>21</sub>	λ <sub>22</sub>	λ <sub>23</sub>	λ <sub>24</sub>	λ <sub>25</sub>	λ <sub>26</sub>	λ <sub>27</sub>	λ <sub>28</sub>	λ <sub>29</sub>	λ <sub>30</sub>	λ <sub>31</sub>

【図 3】

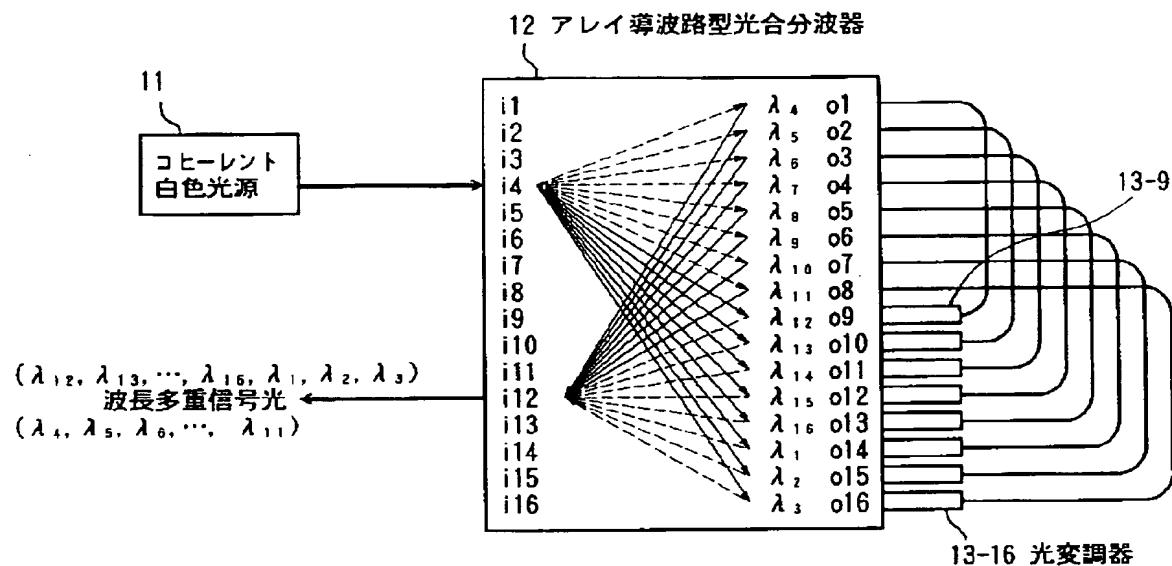
【図4】

本発明の波長多重信号光発生装置の第2実施例の構成



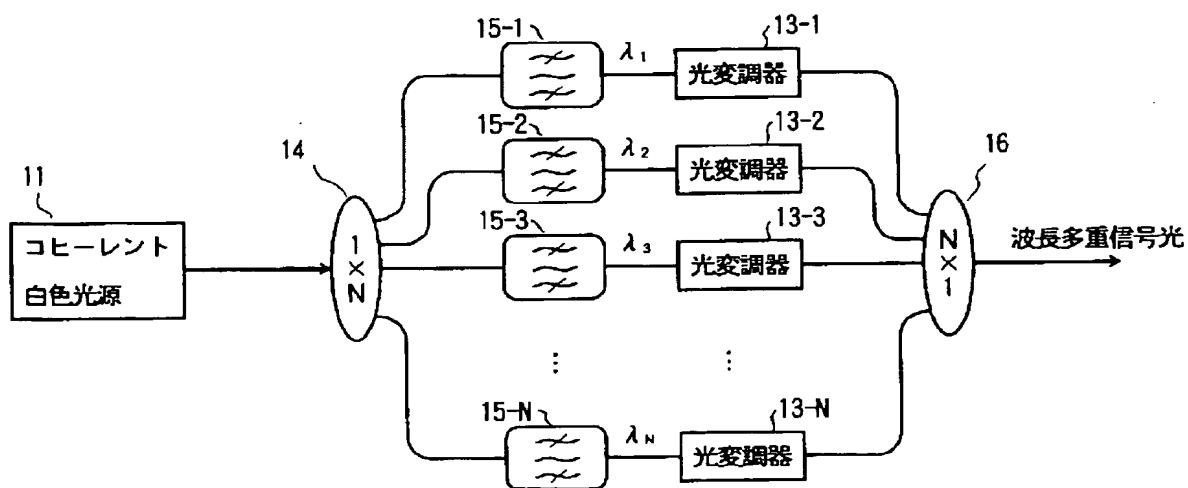
【図 6】

## 本発明の波長多重信号光発生装置の第4実施例の構成



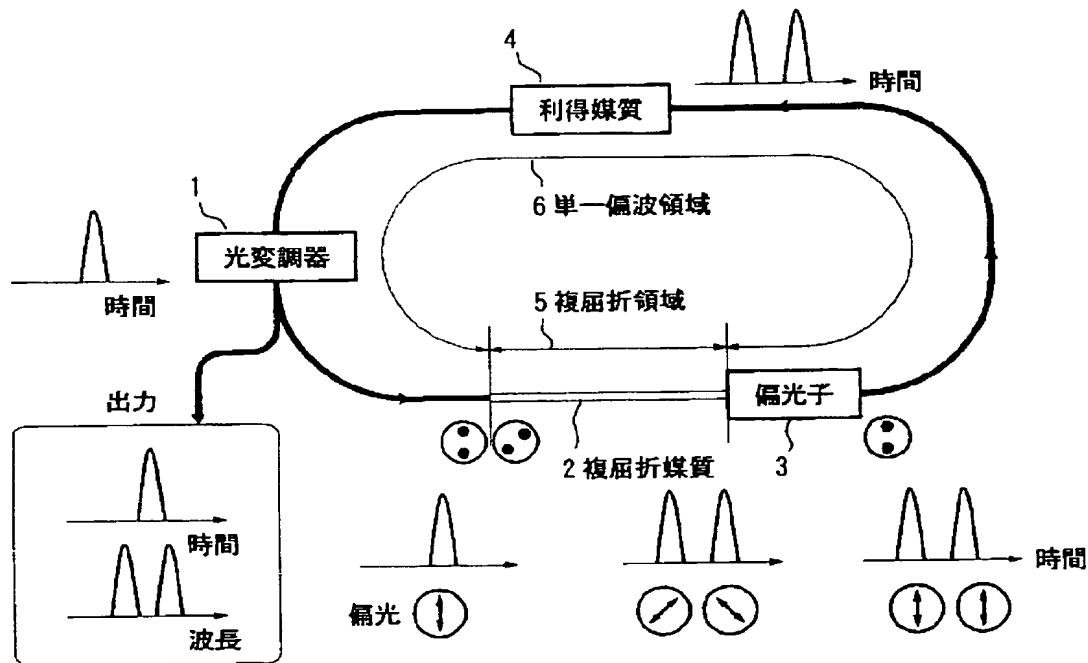
【図 7】

## 本発明の波長多重信号光発生装置の第5実施例の構成



【図8】

## モード同期ファイバリングパルスレーザの構成



フロントページの続き

(72) 発明者 猿渡 正俊

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内